

ОДНОКОМПОНЕНТНЫЕ СОЛИТОНЫ В ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ КРИСТАЛЛАХ

С. М. Кочетков, Л. М. Барковский

Перспективными для нелинейно-оптических приложений представляются солитоны в фоторефрактивных средах [1, 2]. Известно три основных типа пространственных фоторефрактивных солитонов [3]: экранированные солитоны, фотогальванические солитоны, квазистационарные солитоны. Обычно при теоретическом изучении экранированных солитонов рассматривается внешнее поле, поляризация пучка и волновая нормаль направленные по главным осям тензора диэлектрической проницаемости [4–7].

Цель работы состоит в изучении однокомпонентных светлых экранированных солитонов в одноосных негиротропных нецентросимметричных фоторефрактивных кристаллах при произвольной ориентации фазовой нормали и внешнего электрического поля по отношению к кристаллу. Для этого случая с помощью метода связанных амплитуд [8] в пренебрежении диффузионным движением зарядов по сравнению с дрейфовым получена система связанных нелинейных уравнений Шредингера

$$\begin{aligned} 2ik_o \frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{1}{1+|U|^2+|V|^2} \left\{ \sigma_o U + v_{oe} e^{i(k_e - k_o)z} V \right\} &= 0, \\ 2ik_e \frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{1}{1+|U|^2+|V|^2} \left\{ \sigma_e V + v_{eo} e^{-i(k_e - k_o)z} U \right\} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

где коэффициенты заданы выражениями

$$\sigma_o = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \mathbf{e}_o (\boldsymbol{\rho} \mathbf{E}_0) \mathbf{e}_o, \quad v_{oe} = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \sqrt{\frac{n_o}{n_e}} \mathbf{e}_o (\boldsymbol{\rho} \mathbf{E}_0) \mathbf{e}_e, \quad (2)$$

$$\sigma_e = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \mathbf{e}_e (\boldsymbol{\rho} \mathbf{E}_0) \mathbf{e}_e, \quad v_{eo} = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \sqrt{\frac{n_e}{n_o}} \mathbf{e}_e (\boldsymbol{\rho} \mathbf{E}_0) \mathbf{e}_o, \quad (3)$$

и введены обозначения: U – медленная огибающая обыкновенной волны, V – необыкновенной, \mathbf{E}_0 – внешнее электрическое поле, \mathbf{e}_e и \mathbf{e}_o единичные векторы поляризации собственных волн кристалла, k_e , n_e и k_o , n_o волновые числа и показатели преломления необыкновенной и обыкновенной волны соответственно, тензор $\boldsymbol{\rho}$ связан с тензором диэлектрической проницаемости линейного кристалла $\boldsymbol{\varepsilon}_0$ и тензором Поккельса \mathbf{r} соотношением $\rho_{ijk} = -(\varepsilon_0)_{il} r_{lmk} (\varepsilon_0)_{mj}$.

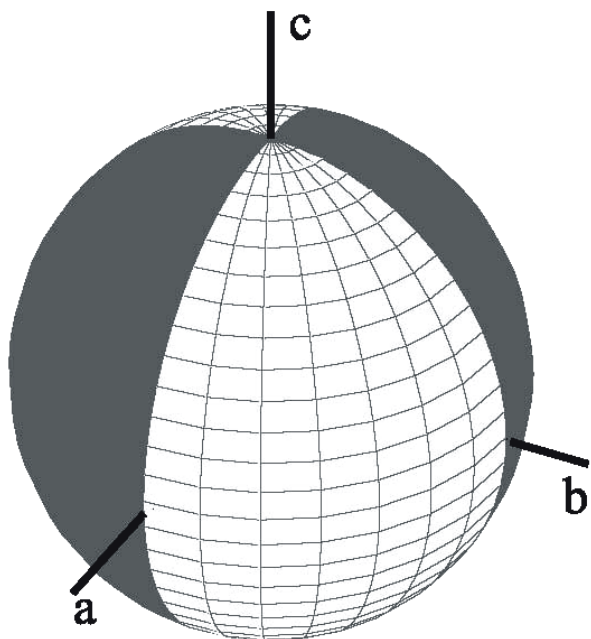


Рис. 1 Зависимость существования светлых обыкновенных солитонов от направления фазовой нормали в кристалле ниобата лития

Система (1) имеет тот же вид, что и уравнения, использовавшиеся в [4–7]. Отличие состоит в выражениях для коэффициентов (2) и (3). Эти выражения носят общий характер, так как внешнее поле и поляризация нормальных волн входит в них в виде произвольно ориентированных векторов. Присутствие \mathbf{e}_o и \mathbf{e}_e в выражениях для коэффициентов обуславливает зависимость динамики солитонов от направления фазовой нормали.

Далее рассмотрим светлые однокомпонентные солитоны. При $V = 0$ ($U = 0$) однокомпонентный солитон называется обыкновенным (необыкновенным). Как известно [9], однокомпонентные светлые солитоны существуют

только при самофокусирующей нелинейности. С другой стороны, при самодефокусирующей нелинейности существуют лишь темные солитоны. Тогда для обыкновенных (необыкновенных) светлых солитонов условие существования имеет вид $\sigma_o < 0$ ($\sigma_e < 0$).

С помощью прямого бескоординатного метода Федорова [10–12] удастся решить задачу о направлениях фазовой нормали, допускающих формирование однокомпонентных солитонов. Для наглядного представления решения этой задачи будем пользоваться следующим приемом. Все фазовые нормали составляют единичную сферу, точки этой сферы, соответствующие нормальям, допускающим (не допускающим) формирование солитонов, будем закрашивать белым (черным) цветом.

Пусть \mathbf{c} вектор оптической оси и $\chi = \mathbf{c}^\times (r\mathbf{E}_0) \mathbf{c}^\times$. Мы используем обозначения принятые в [10–12]. Тогда для обыкновенных солитонов возможны два случая. При $\bar{\chi}_t \geq 0$ вся единичная сфера одного цвета: во всех направлениях возможно либо невозможно формирование солитонов. Второй случай реализуется при $\bar{\chi}_t < 0$. Тогда имеем пару окружностей, отделяющих те части единичной сферы, в которых возможно формиро-

вание светлых обыкновенных солитонов, от тех, в которых это невозможно. Упомянутые окружности описываются вектором

$$\mathbf{n} = \frac{g\mathbf{c} \pm \left((\chi - f\mathbf{c}^\times)\boldsymbol{\tau} \right)^\times \mathbf{c}}{\sqrt{g^2 + \left(\left((\chi - f\mathbf{c}^\times)\boldsymbol{\tau} \right)^\times \mathbf{c} \right)^2}}, \quad (4)$$

при изменении параметра g от $-\infty$ до ∞ . В (4) скаляр f определяется формулой $f = \pm\sqrt{-\chi_t}$, \mathbf{n} фазовая нормаль, вектор $\boldsymbol{\tau}$ выбирается из соображений простоты. Рис.1 демонстрирует второй случай на примере кристалла ниобата лития. На этом рисунке вектор \mathbf{c} направлен вдоль оптической оси (поворотная ось 3-го порядка), вектор \mathbf{a} является перпендикуляром к зеркальной плоскости группы симметрии кристалла, вектор \mathbf{b} образует с ними правую тройку \mathbf{a} , \mathbf{b} , \mathbf{c} . При расчете для определенности было принято $\mathbf{E}_0 \parallel \mathbf{a}$.

Литература

1. *Grosignani B., Salamo G.* Photorefractive solitons. OPN. 2002. p.38.
2. *Snyder A. W. and Kivshar Y. S.* Bright spatial solitons in non-Kerr media: stationary beams and dynamical evolution. J. Opt. Soc. Am. B. 1997. Vol.14, No. 11, 3025–3031.
3. *DelRe E., Crosignani B., Di Porto and P.* Photorefractive Spatial Solitons. in Spatial Solitons, S.Trillo and W.Torruellas, eds. Springer-Verlag, New York, 2001, Chap. 4, 61–86.
4. *Segev M., Valley G. C., Crosignani B., DiPorto P. and Yariv A.* Steady-State Spatial screening solitons in photorefractive materials with external applied field. Phys. Rev. Lett. (1994), vol.73, No. 24. 3211–3214.
5. *Cristodoulides D. N. and Carvalho M. I.* Bright, dark, and gray spatial soliton states in photorefractive media. J.Opt. Soc. am. B, (1995), Vol.12, No9 1628–1633.
6. *Segev M., Valley G. C., Singh S. R., Cavalho M. I., and Christodoulides D. N.* Vector photorefractive spatial solitons. Opt. Lett. (1995), Vol.20, No. 17, 1764–1766.
7. *Carvalho M. I., Singh S. R. and Christodoulides D. N., Joseph R. I.* Dark and bright vector spatial solitons in biased photorefractive media. Phys. Rev. E, (1996), vol. 53, Num.1, R53–R56.
8. *Солимар Л., Уоли Д.* Лекции по электрическим свойствам материалов: Пер. с англ. – М.:Мир, 1991.- с.102–109.
9. *Кившарь Ю. С., Агравал Г. П.* Оптические солитоны. От волоконных световодов до фотонных кристаллов, Пер. с англ., под. ред. Н. Н. Розанова, Москва, ФИЗМАТЛИТ (2005).
10. *Федоров Ф. И.*, Теория гиротропии. Минск, Наука и техника (1976).
11. *Федоров Ф. И.*, Оптика анизотропных сред. Изд. 2-е, испр. – Москва, Едиториал УРСС, 2004. 384 с. (Минск: Из-во АН БССР, 1958, 380 с.).
12. *Fedorov F. I.*, On the wave normal equation for bianisotropic media. Radiscientist 1994, vol.5, No 1, p.21–23.